

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540478

研究課題名(和文) 地球最古の堆積岩イスアのイリジウムの異常濃度の測定

研究課題名(英文) Measurements of iridium concentration in the oldest rock sample, ISUA.

研究代表者

初川 雄一 (HATSUKAWA YUICHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号：40343917

研究成果の概要(和文)：申請者らが開発した高感度元素分析法である多重ガンマ線放射化分析法を用いて地球化学、宇宙化学において興味をもたれているイリジウムの超高感度分析を行った。イスアは月の巨大クレーターの生成年代とほぼ同時代に生成したことが分かっておりイスア中のイリジウム分析はその当時飛来した物質に関する貴重な情報をもたらす。本研究を通して 38 億年ほど前に地球や月に飛来したのは小惑星ではなく彗星であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Non-destructive ultra-sensitive elemental analyses method using gamma-gamma coincidence detection technique combined with neutron activation analysis was developed by JAEA group. In this study, iridium concentrations in the geological samples were measured using the multiple gamma detection with neutron activation analysis method. The ISUA samples from Greenland were analyzed. The ISUA is recognized as which was formed at 3.8 billion years ago, almost same age with the Late Heavy Bombardments. By the iridium measurements of the ISUA samples, we proved that Late Heavy Bombardments were caused by impacts of comets, not asteroids.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：放射化分析、イスア、イリジウム、多重ガンマ線放射化分析、後期重爆撃(LHB)

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究代表者は加速器を用いた原子核反応による不安定核種の核分光研究携わっており、原子力機構内に設置された多重ガンマ線検出装置 GEMINI-II を用いた実験を行っていた。最大 19 台のゲルマニウム半導体検出器からなる GEMINI-II は本来加速器によるインビーム実験で原子核構造研究用に開発さ

れたが、研究代表者らはこの装置を中性子放射化分析法と組み合わせることにより微量元素高感度分析法を開発した。通常放射化分析法では中性子照射試料の主要元素から発せられるガンマ線による高いバックグラウンドが生じるために微量元素からの微弱なガンマ線が大きく妨害され測定が困難になってしまう。この欠点を原子核構造研究で

開発されたガンマ線の同時計測で改善を図った。

原子核から同時に発せられる2本のガンマ線を複数のガンマ線検出器で検出し2次元マトリクスを形成することにより通常のガンマ線スペクトルに比べ約1000倍のエネルギー分解能を得ることが出来る。

(2) この多重ガンマ線放射化分析法を地球化学・宇宙化学において興味をもたれているイリジウムの高感度非破壊分析に応用した。1970年 Alvarezらにより恐竜を含む多くの生物大絶滅が起きたとされる白亜紀と新生代第三紀境界 (K-T 境界) において数 ppb という高いイリジウム濃度が発見された。地球においては惑星活動のため親鉄元素であるイリジウムは地球中心の核に集中していると考えられている。そのため地球表面の地殻中のイリジウム濃度は大変低く約数十 ppt 以下である。一方でこのような惑星活動を経なかった小惑星や原始的な隕石中には太陽系生成時のイリジウム濃度が保存されており、数百 ppb のイリジウムが観測されている。Alvarezらは K-T 境界に見られたイリジウムの異常濃度の起源として巨大な隕石衝突を提唱した。それ以来多くの研究者はイリジウム異常濃度を有する地層の発見に躍起となったが地殻中のイリジウム濃度は低くその分析は大変難しいため限られた研究者のみによって行われていた。

本研究では研究代表者らにより開発された多重ガンマ線放射化分析法を極微量イリジウムの非破壊分析に応用し最大で10ppt以下の検出限界値でイリジウム濃度を得ることができた。

(3) 月面の巨大クレーターはほぼ同時期 (38 から 39 億年前) に形成されている。これはこの時期に多くの小惑星群が飛来したために形成したものと考えられている。月と同様に地球にも飛来したと考えられ、これを後期重爆撃 (LHB) と呼んでいる。しかし地球では惑星活動が活発で月のような痕跡は見られない。しかし地球最古の岩石試料として知られているグリーンランドのイスア岩石の生成年代は約 38 億年前であり LHB とほぼ同時期である。イスアは堆積性の岩石でありこのイリジウム濃度を調べれば LHB に関する知見を得ることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究では多重ガンマ線放射化分析法により、岩石試料中のイリジウムの高感度分析を行い、地球外物質の地球飛来に関する情報を得ることを目的とする。またイリジウム分析に利用される標準岩石試料中のイリジウム高精度分析を多重ガンマ線放射化分析によ

り信頼度の高い値を得るものである。

3. 研究の方法

(1) 試料

ISUA 試料はデンマーク・グリーンランド地質学調査所の P. APPEL 博士よりグリーンランドイスア地域で採取した雲母結晶片岩、混濁沈殿物、縞状鉄鋼石を入手しそれぞれをハンドドリルにより粉末にして分析試料とした。標準岩石として、デンマーク K-T 境界から作成した FC-1、FC-2 を作成者の Gwozdz 博士より提供された。別の標準岩石試料は南アフリカ産の白金鉱石標準試料 SARM-76 を購入した。イスア試料はそれぞれの異なる岩石ごとに砕粉化し、粉末状の標準岩石試料はそのまま秤量しこれを外径 mm の合成石英ガラス管に封入する。

(2) 原子炉照射

封入した試料は10本ずつアルミフォイルで包装して原子炉用の照射カプセルに入れて中性子照射を行う。この際岩石試料と共に原子吸光分析用の標準溶液を分取して石英管中に10ngのイリジウムを秤量したものを岩石試料とともに照射した。照射は原子力機構東海研究所内にある研究炉 JRR-3M の HR 照射孔にて48時間照射を行なった。

(3) 測定・解析

照射試料は約4週間程度の冷却期間ののち開封をおこない、原子炉中性子による中性子捕獲反応により生成したイリジウム 192 から発せられるガンマ線を GEMINI-II により測定した。アルミフォイルを取り外し、石英ガラス管に封入されたままの試料を多重ガンマ線測定装置 GEMINI-II にてガンマ線の測定を行なった。一試料につき約24時間ずつの測定を行った。GEMINI-II に用いられているゲルマニウム半導体検出器はそれぞれ BGO シンチレーション検出器で周りを覆うことにより、コンプトン散乱抑制が行われており低バックグラウンドでの測定が実現している。また測定試料とともに Ba-133 標準ガンマ線試料を測定することによりこの線源からのガンマ線の数え落としから測定系全体の不感時間を求め測定時間補正を行なった。

同じく標準溶液より調整した10ナノグラムの標準試料中の316keV - 468keV ガンマ線同時事象係数を測定した。得られたそれぞれのカウント数を測定時の不感時間補正、半減期補正を行い、試料中のイリジウムの定量を行った。例としてイスア試料から得られた2次元マトリクスを図1にしめす。この試料は18 ± 3 ppt のイリジウムが含まれていることが分かった。同様に標準岩石試料の分析も行なった。

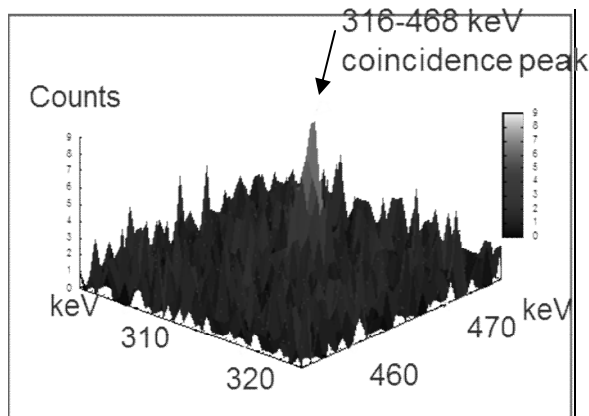


図1 多重ガンマ線放射化分析法により検出されたイスア・縞状鉄鉱石石英部分試料中のイリジウム 192 からのコインシデンスガンマ線。分析の結果この試料中のイリジウム濃度は 18 ± 3 ppt であった。

4. 研究成果

多重ガンマ線放射化分析法によりイスア試料中のイリジウム濃度測定を行った。全部で 37 試料中の測定を行い、9ppt から 6580ppt のイリジウム濃度を検出し、平均として約 150ppt のイリジウムが存在している。これは現代の地殻中の平均的な値 20ppt と比べると 7 倍のイリジウム濃度であり地球外物質の寄与が考えられる。米国により得られている月面でのイリジウム濃度（極めて低い）と比較することにより、イスア生成時に地球や月に飛来し後期重爆撃を引き起こした地球外物質は従来提唱されていた小惑星ではより多くのイリジウム残留がなくてはならない。そこで LHB の正体として、小惑星よりイリジウム含有量が少なく、小惑星の 2 倍ほどの速度を有している彗星の衝突が考えられる。小惑星 (12km/s) と彗星 (20km/s) の衝突のモデル計算を行い、本研究で得られたイスアに残された地球上のイリジウム含有量と月面のイリジウム含有量を満足する事象として彗星衝突が良い再現性を示した。この結果は ICARUS 誌に掲載された。

またイリジウム用の岩石標準試料中のイリジウム分析を行なった。K-T 境界試料である FC-1、FC-2 と南アフリカ産の白金鉱石から生成された SARM-76 のイリジウム分析を行なった。FC-1、FC-2 及び SARM-76 のイリジウム含有量はそれぞれ 33.0 ± 0.9 ppb, 34.5 ± 1.0 ppb, 108 ± 10 ppb であった。

SARM-76 は FC-1、FC-2 に比べ 3 倍ほどの含有量があるが試料ごとのバラツキが大きくそのため誤差が大きくなっている。この原因として試料の生成過程に注目した。鉱石を粉碎した SARM-76 試料中のイリジウムはイリジウム単体或いはイリジウム合金として存在しているものと考えられる。SARM-76 の粒度分布は 10 ミクロン以上の粒子が 50%ほど存在

しており 10 ミクロンの直径のイリジウム金属の重量は 12 ナノグラムに達し分析に用いた 100 ミリグラムの SARM-76 に含まれるイリジウムの 10%程度になる。これでは均一なイリジウム分布は期待できない。一方 K-T 境界試料である FC-1、FC-2 はメキシコ湾へ落下した巨大隕石衝突を起源としており、衝突時に一度蒸発過程を経ていることになる。そのため隕石中のイリジウムも蒸発により微細な粒子になって試料中に存在していると考えられる。これにより SARM-76 に比べると 1/3 程度の含有量であるがイリジウムの存在形態が大変均一であり、試料ごとのバラツキがなく誤差の少ない結果が得られた。この結果は国際会議 MTA - 13 において発表され J. Radioanal. Nucl. Chem. に掲載される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Y. Hatsukawa, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura, M. Koizumi, K. Furutaka, M. Segawa.
“High Sensitive Iridium Measurement using Neutron Activation Analysis with γ - γ Coincidence Detection”、TRANSACTION (American Nuclear Society) 査読有 99, P53 (2008)
- ② U. Jorgensen, P. Appel, Y. Hatsukawa, R. Frei, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura.
“The Earth-Moon system during the late heavy bombardment period - Geochemical support for impacts dominated by comets.” Icarus, 査読有 204, p368-380 (2009),
- ③ T. Osawa, Y. Hatsukawa, K. Nagao, M. Koizumi, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura, K. Furutaka,
“Iridium concentration and noble gas composition of Cretaceous-Tertiary boundary clay from Stevns Klint, Denmark” Geological Geochemical Journal, 査読有 Vol. 43 (No. 6), pp. 415-422, (2009)
- ④ Y. Hatsukawa, T. Osawa, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura, K. Furutaka
“Measurement of Ir concentration in Geological Standard Samples using Neutron Activation Analysis with Multiple Gamma coincidence Method,” J. Radioanal. Nucl. Chem., 査読有 Accepted.

[学会発表] (計4件)

- ① Y. Hatsukawa, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura, M. Koizumi, K. Furutaka, M. Segawa.
High Sensitive Iridium Measurement using Neutron Activation Analysis with γ - γ Coincidence Detection、American Nuclear Society Meeting Nov. 11, (2008) Reno, Nevada USA,
- ② Y. Hatsukawa, T. Osawa, M. Segawa, M. Koizumi, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura, K. Furutaka
“Measurement of Geological Samples using Neutron Activation Analysis with Gamma-Gamma coincidence,”
APSORC, Dec. 4 (2009) Napa, CA, USA,.
- ③ Yuichi Hatsukawa, Yutaka Miyamoto, Takahito Osawa, Takehito Hayakawa, Masumi Oshima, Yosuke Toh, Atsushi Kimura, Mitsuo Koizumi, Kazuyoshi Furutaka, Mariko Segawa, Hideaki Matsue,
“Feasibility study of isotope measurements using activation analysis with multiple gamma-ray detection” 22nd Seminar Activation Analysis and Gamma-Spectroscopy, SAAGAS-22, Feb. 26 (2009) Vienna、Austria
- ④ Y. Hatsukawa T. Osawa, M. Oshima, Y. Toh, A. Kimura,
M. Koizumi and K. Furutaka
“Measurements of Iridium Concentration in Geological Standard Samples using Neutron Activation Analysis with Gamma-Gamma Coincidence Method,”
MTAA-13, Mar. 15 (2011). Collage Station, TX, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

初川 雄一 (HATSUKAWA YUICHI)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
量子ビーム応用研究部門・研究主幹
研究者番号：40343917

(2) 研究分担者

野口 高明 (NOGUCHI TAKAAKI)
茨城大学・理学部・教授
研究者番号：40222195